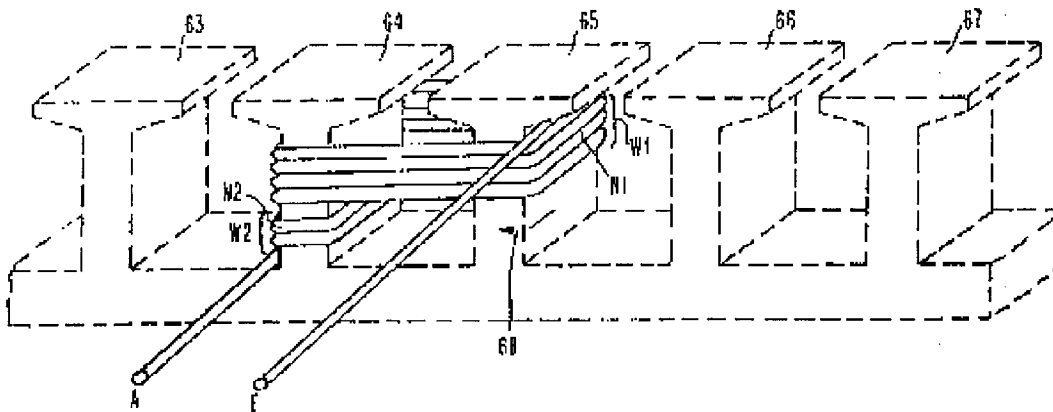
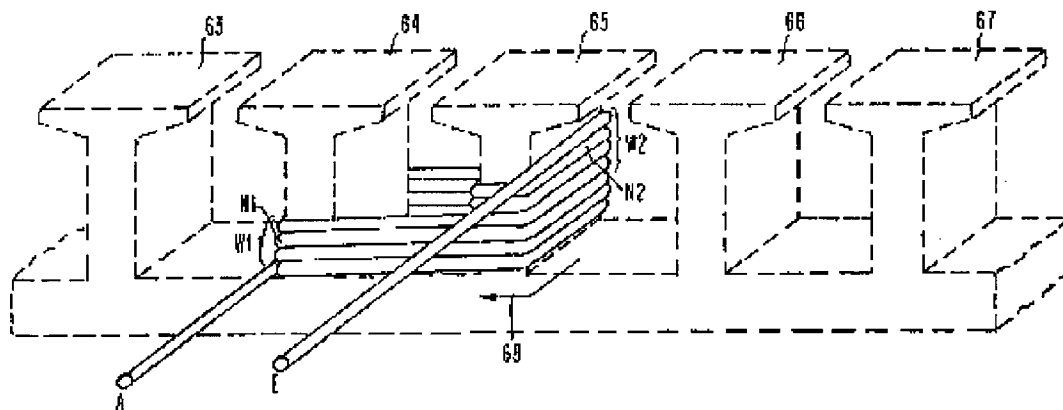


AN: PAT 1995-374769  
TI: Adjustable speed electronically commutated DC motor has two-part stator coils with unequal numbers of turns wound in uniform direction around one and two teeth respectively  
PN: **DE4425193-C1**  
PD: 09.11.1995  
AB: The speed of rotation is varied stepwise or continuously by electronic adjustment of the angle of flux of current between 90 and 180 deg. Each coil is wound with a first winding (W1) over at least two teeth (64, 65) of the laminated stator and a second winding (W2) around one tooth only. Both windings are in the same direction (68) and the single-tooth winding is located either at the end (E) or at the start (A) of the coil according to the direction in which the motor is to rotate.; The adjustment is controlled by a less costly circuit exhibiting higher efficiency under partial load and esp. at lower speeds.  
PA: (BOSC ) BOSCH GMBH ROBERT;  
IN: KRAUTH W; WEHBERG J;  
FA: **DE4425193-C1** 09.11.1995; WO9602971-A1 01.02.1996;  
CO: AT; BE; CH; CN; DE; DK; ES; FR; GB; GR; IE; IT; JP; KR; LU; MC; NL; PT; SE; US; WO;  
DN: CN; JP; KR; US;  
DR: AT; BE; CH; DE; DK; ES; FR; GB; GR; IE; IT; LU; MC; NL; PT; SE;  
IC: H02K-003/12; H02K-029/00; H02K-029/12; H02P-006/06; H02P-006/08; H02P-006/18;  
MC: V06-M03; V06-N04; X11-H01; X13-G01C;  
DC: V06; X11; X13;  
FN: 1995374769.gif  
PR: **DE4425193** 16.07.1994;  
FP: 09.11.1995  
UP: 01.02.1996





19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 44 25 193 C 1

51 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
H 02 P 6/08  
H 02 K 29/00

21 Aktenzeichen: P 44 25 193.9-32  
22 Anmeldetag: 16. 7. 94  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 9. 11. 95

DE 44 25 193 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

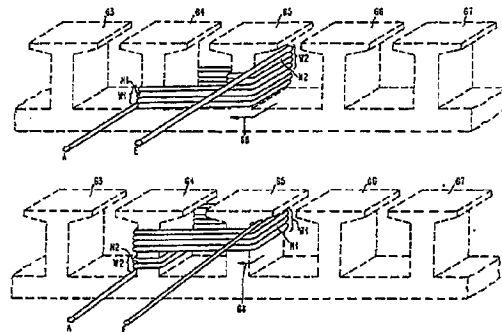
72 Erfinder:  
Wehberg, Josef, Dipl.-Ing., 77815 Buehl, DE; Krauth,  
Wolfgang, 77855 Achern, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 30 12 833 C2  
DE 26 29 269 A1  
DE-OS 20 30 663  
US 52 25 729  
US 51 25 067

54 Drehzahlverstellbarer EC-Gleichstrommotor

57 Bei einem drehzahlveränderbaren elektronisch kommutierten Gleichstrommotor wird die stufenweise oder kontinuierliche Drehzahlverstellung mittels der elektronischen Veränderung des Stromflußwinkels zwischen 90°el und 180°el vorgenommen. Die Strangwicklung jeder einzelnen Spule des Motors ist mit einer ersten Wicklung (W1) über mindestens zwei Wicklungszähne (64, 65) und einer ersten Windungszahl (N1) sowie mit einer zweiten Wicklung (W2) über einen einzigen Wicklungszahn (65 bzw. 64) und einer zweiten Windungszahl (N2) versehen, wobei der Wicklungssinn (68) dieser beiden Wicklungen gleich ist und die zweite Wicklung (W2) über einen einzigen Wicklungszahn (64 bzw. 65) am Ende (Fig. 4A) oder am Anfang (Fig. 4B) der jeweiligen Strangwicklung angeordnet ist.



DE 44 25 193 C 1

Die Erfindung geht aus von einem drehzahlverstellbaren EC-Gleichstrommotor nach der Gattung des Hauptanspruchs, wie er aus der DE-30 12 833 C2 bekanntgeworden ist. Diese Druckschrift zeigt eine Schaltungsanordnung zur Versorgung eines Synchronmotors aus einem Gleichspannungsnetz, bei der die Ständerwicklungen in zyklischer Reihenfolge an die Gleichspannung geschaltet werden. Die Zuschaltung der einzelnen Ständerwicklungen erfolgt dabei während eines vorgegebenen elektrischen Winkelbereichs, die Weiter-schaltung wird durch einen Ringzähler gesteuert, wobei der Stromflußwinkel beziehungsweise die Stromfluß-dauer in den einzelnen Strangwicklungen elektronisch verändert wird.

Aus der DE 26 29 269 A1 ist eine Ansteuerschaltung für einen bürstenlosen, dreisträngig-dreiphasigen Gleichstrommotor bekannt, wobei durch Verschiebung des Einschaltzeitpunktes die Einschaltdauer, also der Stromflußwinkel kleiner oder größer als  $120^\circ$  eingestellt werden kann. Durch die Wahl des Stromflußwinkels sind praktisch alle gewünschten Motor- und Drehzahlcharakteristiken realisierbar. Die US-PS 5 125 067 zeigt eine Motorsteuerung für einen bürstenlosen Motor, dessenwicklung speziell entsprechend der gewünschten Motorcharakteristik ausgebildet ist. Hierbei erfolgt eine Aufteilung der Gesamtwicklung in Wicklungsgruppen mit vorgegebenen Windungszahlen zur Erzeugung eines speziellen Momentenverlaufs, welcher jedoch mit einer kritischen Kommutierung erkaufte wird. Die US-PS 5 225 729 zeigt eine Statorwicklung mit zwei Wicklungen unterschiedlicher Spulenweite, wodurch der Kommutierungswinkel während des Betriebs verändert werden kann, um den Motor an Laständerungen anzupassen. Hierbei ist entweder nur eine Wicklung oder beide in Reihe geschalteten Wicklungen wirksam. Die DE-OS 20 30 663 offenbart einen über Hallensensoren gesteuerten Elektromotor, dessen Erregerwicklungen Anzapfungen aufweisen, welche entsprechend den Signalen der Hallensensoren an das Gleichspannungsnetz angeschlossen werden. Mit einer derartigen Anordnung erreicht man eine Drehzahlsteuerung mit einstellbarer Drehzahl-Drehmomentcharakteristik.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den schaltungstechnischen Aufwand bekannter Steuerungen zur Drehzeleinstellung von EC-Gleichstrommotoren deutlich zu verringern bei gleichzeitiger Erhöhung des Wirkungsgrades im Teillastbereich und insbesondere bei niedrigeren Drehzahlen. Diese Aufgabe wird gelöst durch die kennzeichnenden Merkmale des Hauptanspruchs.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht die Drehzahlverstellung des Gleichstrommotors in Stufen mittels schlagartiger, stufenweiser Veränderung des Stromflußwinkels beziehungsweise der Stromflußdauer vor, insbesondere von  $90^\circ$  el auf  $180^\circ$  el bei zwei Drehzahlstufen.

Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß für die elektronische Veränderung des Stromflußwinkels die in den Strangwicklungen vorgesehenen elektronischen Leistungsschalter, vorzugsweise MOSFET-Transistoren, von einer Verriegelungs- und Steuerschaltung mittels Ansteuersignale entsprechend ein- und ausgeschaltet werden,

um den Stromfluß zwischen einer Spannungsquelle und Massepotential zu ermöglichen. In bevorzugter Ausführung wird die Verriegelungs- und Steuereinheit ein-gangsseitig mit Rotorlagesignalen und Signalen zur An-gabe der stufenweisen und/oder kontinuierlichen Dreh-zahlverstellung beaufschlagt.

Der erfindungsgemäß gestaltete elektronisch kom-mutierte Gleichstrommotor wird gemäß seiner beson-ders zweckmäßigen Ausgestaltung als stufenweise ver-stellbarer Motor für Kühlgebläse verwendet, wobei der hauptsächliche Einsatz in der niedrigen Drehzahlstufe erfolgt, in der erfindungsgemäß das Betriebsverhalten hinsichtlich des hohen Wirkungsgrads besonders gut ist. Dies bietet besonders bei dieser Anwendung erhebliche wirtschaftliche Vorteile, neben den Vorteilen des EC-Motors mit seiner hohen Lebensdauer und integrierten Bauform. Die stufenlose Steuerung des Motors im steu-erbaren Drehzahlbereich bietet weiterhin die Möglich-keit, die Kühlwassertemperatur wesentlich genauer den optimalen Betriebsbedingungen eines Verbrennungs-motors anzupassen.

## Zeichnung

Die Erfindung ist anhand eines in der Zeichnung dar-gestellten Ausführungsbeispiels in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch ein Schaltbild eines Ausführungs-beispiels eines gemäß der Erfindung gestalteten elektro-nisch kommutierten Gleichstrommotors;

Fig. 2 bestehend aus Fig. 2A und Fig. 2B schematisch im Zeitdiagramm in Wicklungen induzierte Spannungen und daraus erzeugte Rotorlagesignale, sowie daraus abgeleitete Ansteuersignale für zwei Stromflußwinkel von  $90^\circ$  el und  $180^\circ$  el sowie einen dazwischenliegenden Stromflußwinkel;

Fig. 3 schematisch den Verlauf der in der gemäß der Erfindung gestalteten Wicklung induzierten Spannung, sowie den Verlauf der dort fließenden Ströme bei den zwei Stromflußwinkeln von  $90^\circ$  el und  $180^\circ$  el;

Fig. 4 bestehend aus Fig. 4A und Fig. 4B, schematisch den Aufbau der erfindungsgemäßen Wicklungsanord-nung des Stators mit seinen angedeuteten Wicklungs-zähnen am Beispiel einer Spule einer einzigen Strang-wicklung, und zwar in Fig. 4A für einen Motor mit einer bestimmten Drehrichtung und in Fig. 4B für einen Mo-tor mit entgegengesetzter Drehrichtung, wobei der Richtungssinn der Wicklungen in beiden Fällen der gleiche ist;

Fig. 5 schematisch das Meßergebnis der in einem Strang des erfindungsgemäß gestalteten Motors indu-zierten Spannung bei stromlosem Motor;

Fig. 6 schematisch das Meßergebnis von Spannung und Strom eines Stranges eines erfindungsgemäß ge-stalteten Motors bei einem Stromflußwinkel von  $90^\circ$  el;

Fig. 7 schematisch das Meßergebnis von Spannung und Strom eines Stranges eines erfindungsgemäß ge-stalteten Motors bei einem Stromflußwinkel von  $180^\circ$  el und

Fig. 8 schematisch ein Diagramm von Motorkennli-nien betreffend Wirkungsgrad  $\eta$ , Leistung  $P_2$ , Motor-strom  $I$  und Drehzahl  $n$  in Abhängigkeit vom Lastmo-ment  $M$ .

## Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Fig. 1 ist schematisch ein Schaltbild eines Ausfüh-rungsbeispiels eines gemäß der Erfindung gestalteten

elektronisch kommutierten Gleichstrommotors gezeigt. Der Motor kann als Innen- oder Außenläufer ausgelegt sein. Der passive Rotor 5 trägt die Erregermagnete, die in Fig. 1 mit den beiden Magnetpolen N und S andeutungsweise dargestellt sind. Die Wicklung des Stators kann zweisträngig mit vier Einzelwicklungen 1, 2, 3, 4, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist, ausgeführt sein. Es ist jedoch auch eine Auslegung des Stators mit einer anderen Strangzahl möglich.

Die Ansteuerung des in Fig. 1 schematisch dargestellten Motors ist als Halbwellensteuerung aufgebaut, d. h. jede Wicklung wird nur in einer Richtung vom Strom durchflossen. Möglich ist auch eine Ausführung in Vollwellensteuerung, wobei jeweils lediglich eine Wicklung pro Strang ausreicht. Der Aufwand für die Leistungshalbleiterschalter ist hier jedoch erhöht.

Wie in Fig. 1 dargestellt, ist in jedem Wicklungsstrang 1, 2, 3, 4, jeweils ein Leistungshalbleiterschalter 21, 22, 23, 24 in Reihenschaltung vorgesehen. Diese Leistungshalbleiterschalter 21, 22, 23, 24 stellen in Abhängigkeit von den sie steuernden Ansteuersignalen 31, 32, 33, 34 jeweils die Verbindung zwischen einer Spannungsquelle  $U_B$  und dem Massepotential  $M_p$  her, so daß damit die entsprechenden Ströme durch die Wicklungen fließen. Die im Ausführungsbeispiel gemäß der Fig. 1 dargestellten Leistungshalbleiterschalter sind MOSFET-Transistoren 21, 22, 23, 24. Es sind jedoch auch andere Halbleiterschalter möglich. Weiterhin sind die in Fig. 1 dargestellten Wicklungen bifilar, wobei der neben jeder Wicklung dargestellte Punkt den jeweiligen Wicklungsanfang kennzeichnet. Die bifilaren Wicklungen 1 und 2 sowie 3 und 4 stellen je einen Strang des Stators dar.

Die bereits erwähnten Ansteuersignale 31, 32, 33, 34 für die schaltenden Halbleiter 21, 22, 23, 24 werden von einer in Fig. 1 dargestellten Verriegelungs- und Steuereinheit 50 erzeugt. Diese Verriegelungs- und Steuereinheit 50 ist zur Spannungsversorgung zum einen mit der Spannungsquelle  $U_B$  und zum anderen mit Massepotential  $M_p$  verbunden. Eingangsseitig erhält die Verriegelungs- und Steuereinheit 50 Positionssignale über die Stellung des Rotors 5. Dazu werden in einem Schaltungsblock 51, der im wesentlichen eine Komparator-schaltung ist, aus den in den Wicklungen 1, 2, 3 und 4 induzierten Spannungen 11, 12, 13 und 14 die Positionssignale 41 und 42 erzeugt. Der Schaltungsblock 51 generiert außerdem ein Kommutierungssummensignal 43, welches neben der Information über den genauen Kommutierungszeitpunkt auch den Istwert der Motordrehzahl enthält. Aus dem Kommutierungssummensignal 43 wird in einem Schaltungsblock 52 ein in der Flankenteilheit von der Drehzahl abhängiges Sägezahnsignal 44 generiert. Weiterhin werden der Verriegelungs- und Steuereinheit 50 die Eingangsbedingungen wie Einschalten, niedrige Drehzahlstufe I, hohe Drehzahlstufe II und variable, kontinuierliche Steuerung über den Eingang EIN in Form einer analogen Spannung, die den Drehzahlsollwert darstellt, zugeführt.

Aus diesem die Eingangsbedingungen wiedergebenden Signal EIN und dem Sägezahnsignal 43 generiert ein Funktionsblock 53 der Verriegelungs- und Steuereinheit 50 ein Rechtecksignal 45 durch Vergleich der Eingangsspannung EIN mit der Sägezahnspannung 43. Dieses Rechtecksignal 45 enthält die Information über den korrekten Kommutierungszeitpunkt und der vom Sollwert EIN gewünschten Drehzahl. Eine Verriegelung der Rechteckspannung 45 mit den zu den jeweiligen Strängen gehörenden Rotorpositionssignalen 41 und 42 in einem Schaltungsblock 54 erzeugt die den Leistungs-

transistoren zugeordneten Kommutierungssignale 46, 47, 48 und 49. Die Schaltungseinheit 55 liefert eine Verstärkung dieser Kommutierungssignale und bietet eine Verriegelungsmöglichkeit, so daß die jeweils geeigneten und notwendigen Ansteuersignale 31, 32, 33, 34 zum zeitgerechten Öffnen und Schließen der Leistungshalbleiterschalter 21, 22, 23, 24 in der gewünschten Sequenz vorhanden sind.

In Fig. 2, die aus Fig. 2A und Fig. 2B besteht, sind die zeitlichen Zusammenhänge der verschiedenen Spannungen und Signale über dem elektrischen Drehwinkel  $\omega t$  dargestellt, die bereits im Zusammenhang mit der Beschreibung von Fig. 1 erwähnt wurden. So ist in Fig. 2A im oberen Teil die in der Wicklung 1 induzierte Spannung 11 dargestellt. Die in Wicklung 3 induzierte Spannung 13 ist im darunter liegenden Zeitdiagramm dargestellt, sie ist um  $90^\circ$  el versetzt. Die in den anderen Wicklungen 2 und 4 induzierten Spannungen 12 und 14 sind nicht extra dargestellt, da sie zu den Spannungsverläufen 11 und 13 jeweils invers bzw. um  $180^\circ$  el versetzt sind. Die fünf Zeitdiagramme im unteren Teil der Fig. 2A stellen die aus den induzierten Spannungen 11 bis 14 gewonnenen Rotorpositionssignale 41 und 42 dar, das daraus generierte Kommutierungssummensignal 43, welches durch jede Flanke der Positionssignale 41 und 42 ein- bzw. ausgeschaltet wird, sowie weiterhin das im Schaltungsblock 52 erzeugte Sägezahnsignal 44 zusammen mit dem Gleichspannungssignal EIN. Im untersten Zeitdiagramm ist das aus dem Vergleich des Sägezahnsignals 44 mit dem Eingangssignal EIN gewonnene Rechtecksignal 45, das am Ausgang des Funktionsblocks 53 ansteht, dargestellt.

In der Fig. 2B sind im oberen Teil schematisch in einem Zeitdiagramm nochmals wegen der zeitlichen Zuordnung die Rotorpositionssignale 41 und 42 sowie die Signale 43, 44 und 45 über dem elektrischen Drehwinkel  $\omega t$  aufgetragen. Darunter sind in drei Teilen die daraus abgeleiteten vier Ansteuersignale 31, 32, 33, 34 jeweils in zeitlicher Zuordnung über dem elektrischen Drehwinkel  $\omega t$  dargestellt. Im oberen der drei Teile ist die Eingangsbedingung variabel, d. h. die Drehzahl entspricht einem Sollwert zwischen der niedrigen und der hohen, jeweils festen Drehzahlstufe, was einem Stromflußwinkel  $\psi_i$  zwischen  $90^\circ$  el und  $180^\circ$  el entspricht. Im darunter liegenden mittleren Teil liegt die Eingangsbedingung der Drehzahlstufe I vor, was dem Stromflußwinkel  $\psi_i$  von  $90^\circ$  el entspricht. Im unteren Teil der Fig. 2B schließlich sind die Ansteuersignale 31, 32, 33, 34 jeweils in zeitlicher Zuordnung über dem elektrischen Drehwinkel  $\omega t$  für den Fall der Drehzahlstufe II, was dem Stromflußwinkel  $\psi_i$  von  $180^\circ$  el entspricht, dargestellt. Es ist klar erkennbar, daß die Stromflußdauer entsprechend dem doppelt so großen Stromflußwinkel ebenfalls verdoppelt ist. Die in Fig. 2A und Fig. 2B dargestellte Art der stufenweisen Drehzahlumschaltung und der dazwischen liegenden variablen Drehzahleinstellung erfolgt auf einfache Weise mit Hilfe von Kleinsignalen in der Elektronik. Dies ist sehr einfach zu realisieren.

Das in Fig. 2 dargestellte Kommutierungssummensignal 43 ist in fester Zuordnung zu den strangbezogenen Rotorpositionssignalen 41 und 42 zu sehen. Die Sägezahnspannung 44 wird aus diesem die Information über die tatsächliche Motordrehzahl enthaltenden Kommutierungssummensignal 43 erzeugt. Die abfallende Flanke der Sägezahnspannung 44 wird mit der Drehzahl des Motors gesteuert. Je höher die tatsächliche Drehzahl ist, um so schneller bzw. steiler fällt die Flanke ab. Das

Flankenende erreicht immer die gleiche Spannung. Durch Vergleich mit der die Solldrehzahl darstellenden Eingangsspannung EIN wird die Rechteckspannung 45 gewonnen. Diese schaltet den gerade stromführenden Transistor ab und leitet in Abhängigkeit von den Positionssignalen 41 und 42 die folgende Kommutierung ein. Damit ist es möglich, den Stromflußwinkel  $\psi_i$  abhängig von der Eingangsspannung EIN kontinuierlich zwischen den beiden Extremwerten von  $90^\circ$  el und  $180^\circ$  el zu steuern. Auf Grund der Darstellung der einzelnen Signale über dem Drehwinkel  $\omega t$  wird die Drehzahl selbst nicht sichtbar.

Ein anderer ganz wesentlicher Punkt vorliegender Erfindung ist die dafür geeignete Gestaltung und Auslegung der Wicklungen im Stator des Motors. In Fig. 3 ist im oberen Teil schematisch der Spannungsverlauf  $U_{ind}$  über dem elektrischen Drehwinkel  $\omega t$  dargestellt, der in der gemäß der Erfindung gestalteten geeigneten Wicklung induziert wird. Der Wert  $U_{ind}$  der induzierten Spannung schwankt um den Fixwert  $U_B$  der Spannungsquelle und zwar mit zwei ausgeprägten Maxima oder Stufen. Dies ist zum einen das mit  $U_{is1}$ , der ersten induzierten Spannung, bezeichnete Maximum, das beim Strom  $I_{90}$ , der dem Stromflußwinkel  $\psi_i$  von  $90^\circ$  el entspricht, induziert wird. Zum anderen ist dies das mit  $U_{is2}$ , der zweiten induzierten Spannung, bezeichnete Maximum, das beim Strom  $I_{180}$ , der dem Stromflußwinkel  $\psi_i$  von  $180^\circ$  el entspricht, induziert wird. Im mittleren Teil der Fig. 3 ist über dem elektrischen Drehwinkel  $\omega t$  der zeitlich zugehörige Strangstrom  $I_{90}$  dargestellt. Im unteren Teil der Fig. 3 ist über dem elektrischen Drehwinkel  $\omega t$  der zeitlich zugehörige Strangstrom  $I_{180}$  dargestellt. Bei der variablen Drehzahlsteuerung wird der Stromflußwinkel  $\psi_i$  zwischen  $90^\circ$  el und  $180^\circ$  el gewählt, so daß sich daraus angepaßte Strom- und Spannungsverläufe ergeben, die auf die gewünschte Drehzahl passen. Es sei hier angemerkt, daß der in Fig. 3 im oberen Teil dargestellte Spannungsverlauf  $U_{ind}$  in seiner Gesamtheit dem Stromverlauf des unteren Teils der Fig. 3, nämlich dem Strom  $I_{180}$  zuzuordnen ist.

In Fig. 4, die aus den beiden Fig. 4A und 4B besteht, ist schematisch der Aufbau der erfindungsgemäßen Wicklungsanordnung dargestellt, die einen Spannungsverlauf von der in Fig. 3 dargestellten Qualität ermöglicht. Die Darstellung ist dabei aus Gründen der besseren Überschaubarkeit auf eine Spule einer einzigen Strangwicklung beschränkt. Vom Blechpaket des Stators sind die Wicklungszähne 63, 64, 65, 66, 67, andeutungsweise dargestellt. Um diese und weitere nicht dargestellte Wicklungszähne werden die einzelnen Windungen der Wicklungen gewickelt, um in den einzelnen Zähnen die gewünschte Induktion zu erzeugen.

In Fig. 4A ist die erfindungsgemäße Wicklungsanordnung für einen linksdrehenden Motor dargestellt. Vom Wicklungsanfang A an beginnend wird zunächst im normalen Spulenschritt die erste Wicklung W1 mit der ersten Windungszahl N1 um die zugehörigen Wicklungszähne gewickelt. Im dargestellten Beispiel umfaßt der normale Spulenschritt zwei Wicklungszähne und zwar 64 und 65. Der Richtungssinn beim Wickeln der Wicklung ist dabei rechtsdrehend, wie dies mittels des Pfeils 68 angedeutet ist. Wenn die erste Wicklung W1 fertig ist, wird gemäß der Erfindung eine zweite Wicklung W2 mit einer zweiten Windungszahl N2 über einen Wicklungszahn am Ende der Strangwicklung, und zwar im dargestellten Beispiel der letzte Zahn im zugehörigen Spulenschritt, nämlich Wicklungszahn 65, bis zum mit E bezeichneten Ende gewickelt.

In Fig. 4B ist die erfindungsgemäße Wicklungsanordnung für einen rechtsdrehenden Motor dargestellt, also mit einer Drehrichtung, die der in Fig. 4A dargestellten entgegengesetzt ist. Der Richtungssinn beim Wickeln ist beibehalten, also auch entsprechend dem Pfeil 68 rechtsdrehend. Vom Wicklungsanfang A an wird hier nun zunächst erfindungsgemäß die zweite Wicklung W2 mit ihrer zweiten Windungszahl N2 um den ersten Wicklungszahn 64 im aus zwei Wicklungszähnen 64 und 65 bestehenden normalen Spulenschritt gewickelt. Ist die Wicklung dieser zweiten Wicklung W2 beendet, folgt das Wickeln der ersten Wicklung W1 mit ihrer ersten Windungszahl N1 um die Wicklungszähne 64 und 65, also das Wickeln im normalen Spulenschritt, bis zum Wicklungsende E.

Das in Fig. 4 dargestellte Ausführungsbeispiel gilt für eine Spule eines Stranges eines zweisträngigen Motors mit Einlochwicklung. Es ist auch anderes möglich. So ist es z. B. möglich, die erste Wicklung um vier und die zweite Wicklung um zwei Wicklungszähne anzuordnen.

Im Hinblick auf die in Fig. 3 im oberen Teil dargestellte induzierte Spannung  $U_{ind}$  und die in Fig. 4 dargestellte erfindungsgemäß gestaltete Wicklungsanordnung, ist anzumerken, daß mit dem Verhältnis der Windungszahlen N1 und N2 der beiden Wicklungen W1 und W2 der Spannungsunterschied zwischen der ersten induzierten Spannung  $U_{is1}$  und der zweiten induzierten Spannung  $U_{is2}$  bestimmt werden kann. So gilt, daß die erste induzierte Spannung  $U_{is1}$  proportional zur ersten Windungszahl N1 ist, d. h.  $U_{is1} \approx N1$ , und daß die zweite induzierte Spannung  $U_{is2}$  proportional zur Summe aus erster und zweiter Windungszahl  $(N1 + N2)$  ist, d. h.  $U_{is2} \approx (N1 + N2)$ .

In Fig. 5 ist schematisch das Meßergebnis dargestellt, das sich für die induzierte Spannung U ergibt, wenn ein Strang des erfindungsgemäß gestalteten und betriebenen Motors stromlos ist. Die Darstellung gilt also für die in einem Strang induzierte Spannung. Die Spannung schwankt um die Versorgungsspannung  $U_B$ . Der Maßstab ist 5 Volt pro Kasten. Erkennbar ist die strukturelle und qualitative Übereinstimmung mit der in Fig. 3 dargestellten, quasi geforderten und aus Überlegungen heraus entwickelten Spannungsform.

In Fig. 6 ist schematisch das reale Meßergebnis dargestellt für den Verlauf von in einem Strang induzierter Spannung U und von dem dabei fließenden Strom I bei einem Stromflußwinkel  $\psi_i$  von  $90^\circ$  el. Der Maßstab beträgt 5 Volt bzw. 10 A pro Kästchen. In Fig. 7 ist dasselbe für einen Stromflußwinkel  $\psi_i$  von  $180^\circ$  el dargestellt. Diese realen Meßergebnisse zeigen eine erstaunlich gute strukturelle und qualitative Übereinstimmung des Strom- und Spannungsverlaufs mit den in Fig. 3 dargestellten vorgegebenen Verläufen.

Aus dem in Fig. 7 dargestellten realen Meßergebnis ist ein besonderer Vorteil der Erfindung erkennbar. Bei einem Motor mit herkömmlicher Wicklung und einem Stromflußwinkel von  $180^\circ$  el steigt am Ende der Stromflußzeit der Strom drastisch an und erschwert damit das Abschalten der Leistungshalbleiterschalter. Selbst eine leichte Frühkommutierung hilft hier nur geringfügig weiter. Es ist eindeutig und klar erkennbar, daß bei dem erfindungsgemäßen Motor in der zweiten Hälfte der Stromflußzeit eine deutliche Absenkung des Strangstromes vorhanden ist. Dies hat eine wesentlich erleichterte Abschaltung der Leistungshalbleiterschalter, geringere Verluste, geringere Störungen und damit verbunden geringeren Aufwand zur Folge.

In Fig. 8 sind schematisch verschiedene gemessene

Motorkennlinien dargestellt. Über dem Lastmoment  $M$ , angegeben in Ncm, sind dargestellt der Wirkungsgrad  $\eta$  in %, die an der Motorwelle abnehmbare mechanische Leistung  $P_2$  in Watt, der Motorstrom  $I$  in A und die Drehzahl  $n$  in 1/min. Dabei sind die der Stromflußdauer von  $90^\circ$  el entsprechenden Werte in gestrichelten Linien eingezeichnet und die der Stromflußdauer von  $180^\circ$  el zugehörigen Werte in durchgezogenen Linien eingezeichnet. Die Lastkurve  $L$  ist strichpunktiert dargestellt. Sie schneidet die jeweiligen Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien im Arbeitspunkt AP-I für das Moment  $M-I$  und die zugehörige niedrigere Drehzahlstufe I und im Arbeitspunkt AP-II für das höhere Moment  $M-II$  und die zugehörige höhere Drehzahlstufe II. Der Wirkungsgrad  $\eta$  ist in beiden Fällen kaum unterschiedlich und liegt bei über 70%, wie die Schnittpunkte der Wirkungsgradkurven mit den Momentlinien  $M-I$  und  $M-II$  ergeben. Dies ist insbesondere für die niedrigere Drehzahlstufe I ein bemerkenswert guter Wirkungsgrad und für viele Einsatzbereiche des erfindungsgemäß gestalteten Motors von besonderem Vorteil. Bei der stufenlosen Verstellung der Drehzahl zwischen der niedrigen und der hohen Drehzahl kann jede zwischen den beiden Kurven mögliche Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie gefahren werden.

einheit (50) eingangsseitig mit Signalen (11, 12, 13, 14) über die Lage des Rotors (5) des Motors und einem Eingangssignal (EIN) zur Angabe der stufenweisen und/oder der kontinuierlichen Drehzahlverstellung beaufschlagt ist.

5. Gleichstrommotor nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er in Form der stufenweisen Drehzahlverstellung bevorzugt als Motor für Kühlgebläse verwendet wird, wobei der hauptsächliche Einsatz in der niedrigen Drehzahlstufe erfolgt.

6. Gleichstrommotor nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Leistungsschalter (21, 22, 23, 24) MOSFET-Transistoren verwendet werden.

7. Gleichstrommotor nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Motor als Innen- oder Außenläufermotor aufgebaut ist und/oder die Schaltung der Ströme in den Wicklungen in sogenannter Halb- oder Vollwellensteuerung erfolgt.

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Drehzahlverstellbarer EC-Gleichstrommotor, bei dem zur Drehzahlverstellung des Motors der Stromflußwinkel beziehungsweise die Stromflußdauer in den einzelnen Strangwicklungen (1, 2, 3, 4) elektronisch verändert wird, wobei der Stromflußwinkel der Winkel zwischen jeweiliger Strangwicklungs- und Rotorachse ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede Strangwicklung des Motors mit einer ersten Wicklung (W1) über mindestens zwei Wicklungszähne (64, 65) und einer ersten Windungszahl (N1) sowie mit einer zweiten Wicklung (W2) über mindestens einen Wicklungszahn (64 bzw. 65) dieser zumindest zwei Wicklungszähne (64, 65) und einer zweiten Windungszahl (N2) versehen ist, wobei die Spulenweite der zweiten Wicklung (W2) kleiner als die Spulenweite der ersten Wicklung (W1) ist und der Richtungssinn (68) dieser beiden Wicklungen (W1, W2) gleich ist und die zweite Wicklung (W2) über den mindestens einen Wicklungszahn (64 bzw. 65) je nach Drehrichtung des Rotors am Ende (Fig. 4A) oder Anfang (Fig. 4B) der jeweiligen Strangwicklung angeordnet ist, und daß die Veränderung des Stromflußwinkels ( $\psi_i$ ) zwischen  $90^\circ$  el und  $180^\circ$  el erfolgt.

2. Gleichstrommotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahlverstellung in Stufen mittels stufenweiser Veränderung des Stromflußwinkels ( $\psi_i$ ) erfolgt.

3. Gleichstrommotor nach einem der vorigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für die elektronische Veränderung des Stromflußwinkels ( $\psi_i$ ) die in den Strangwicklungen (1, 2, 3, 4) vorgesehenen elektronischen Leistungsschalter (21, 22, 23, 24) von einer Verriegelungs- und Steuerschaltung (50) mittels Ansteuersignale (31, 32, 33, 34) entsprechend ein- und ausgeschaltet werden, um den Stromfluß zwischen einer Spannungsquelle ( $U_B$ ) und Massepotential ( $M_p$ ) zu ermöglichen.

4. Gleichstrommotor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Verriegelungs- und Steuer-

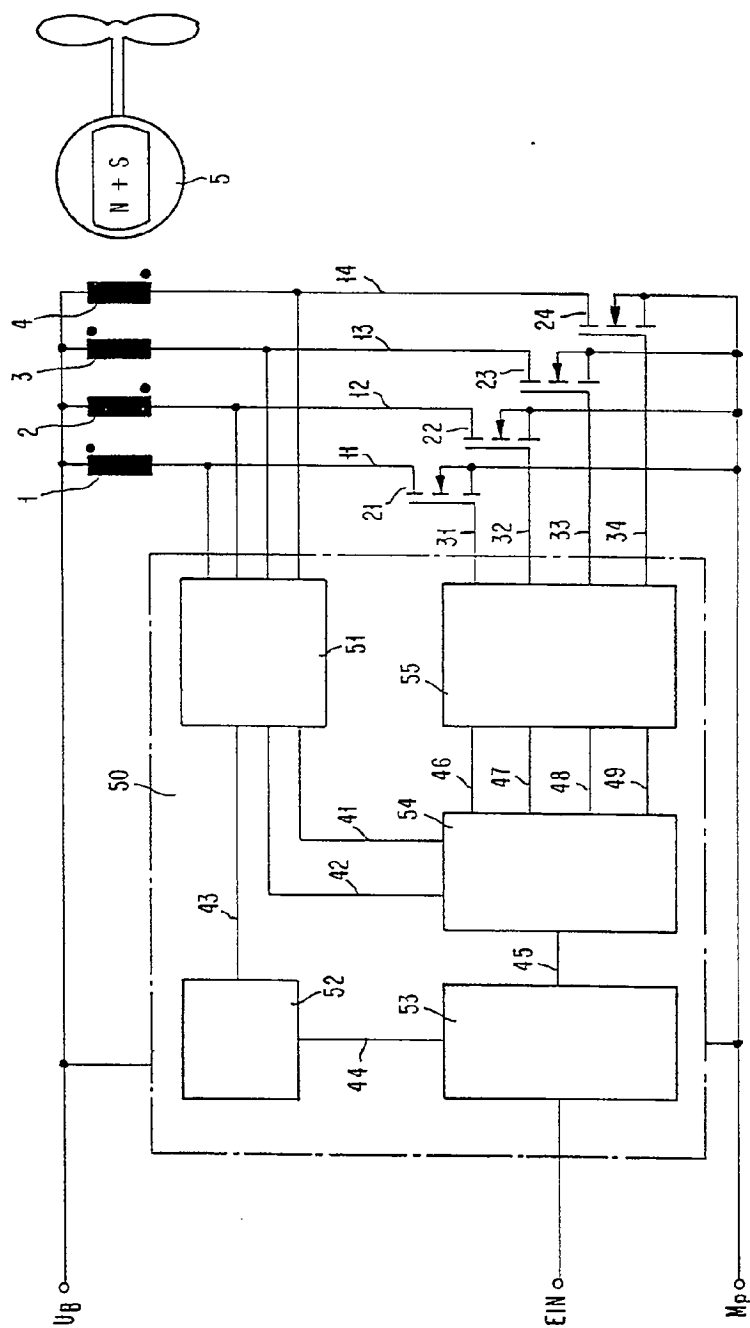


FIG. 1



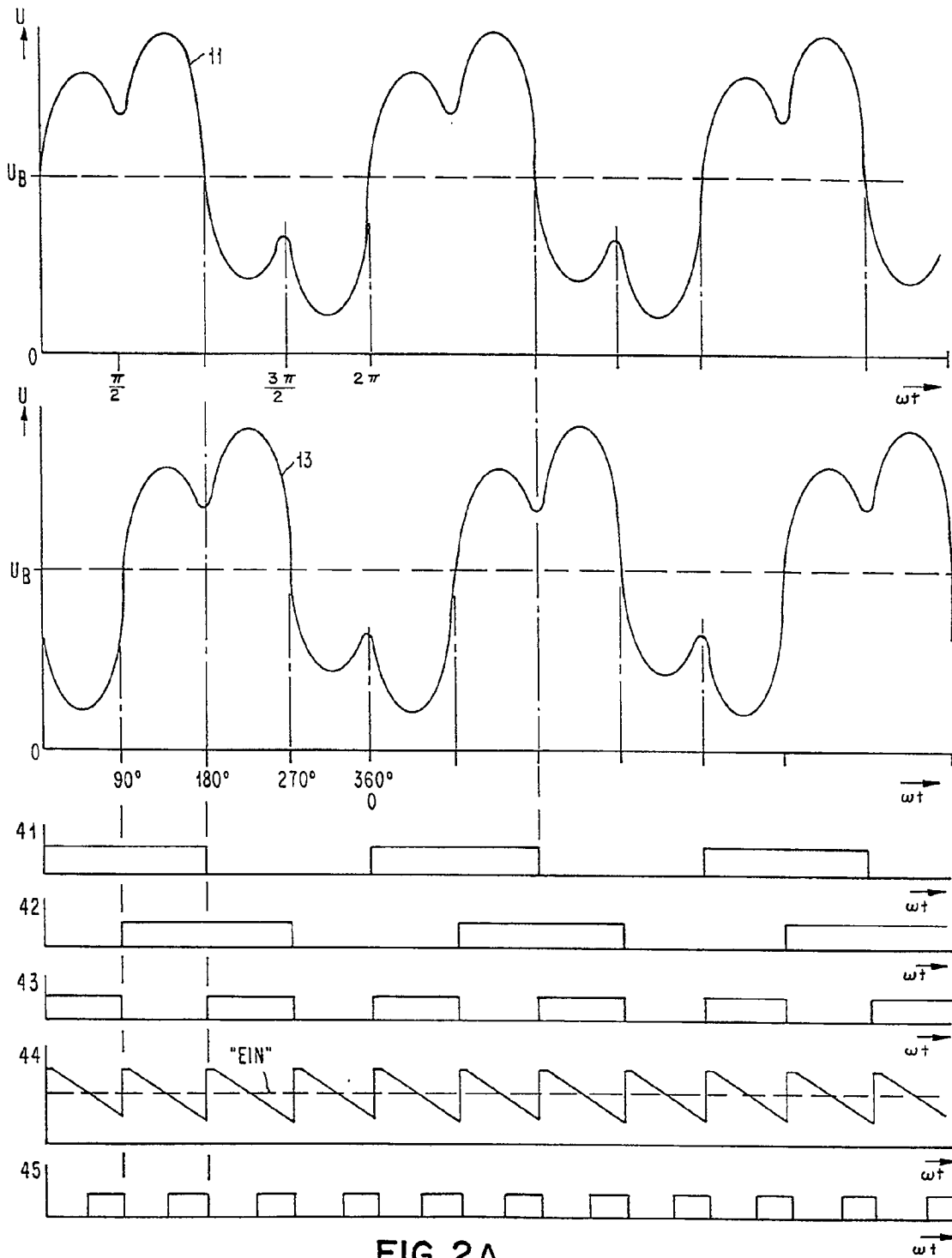


FIG. 2A

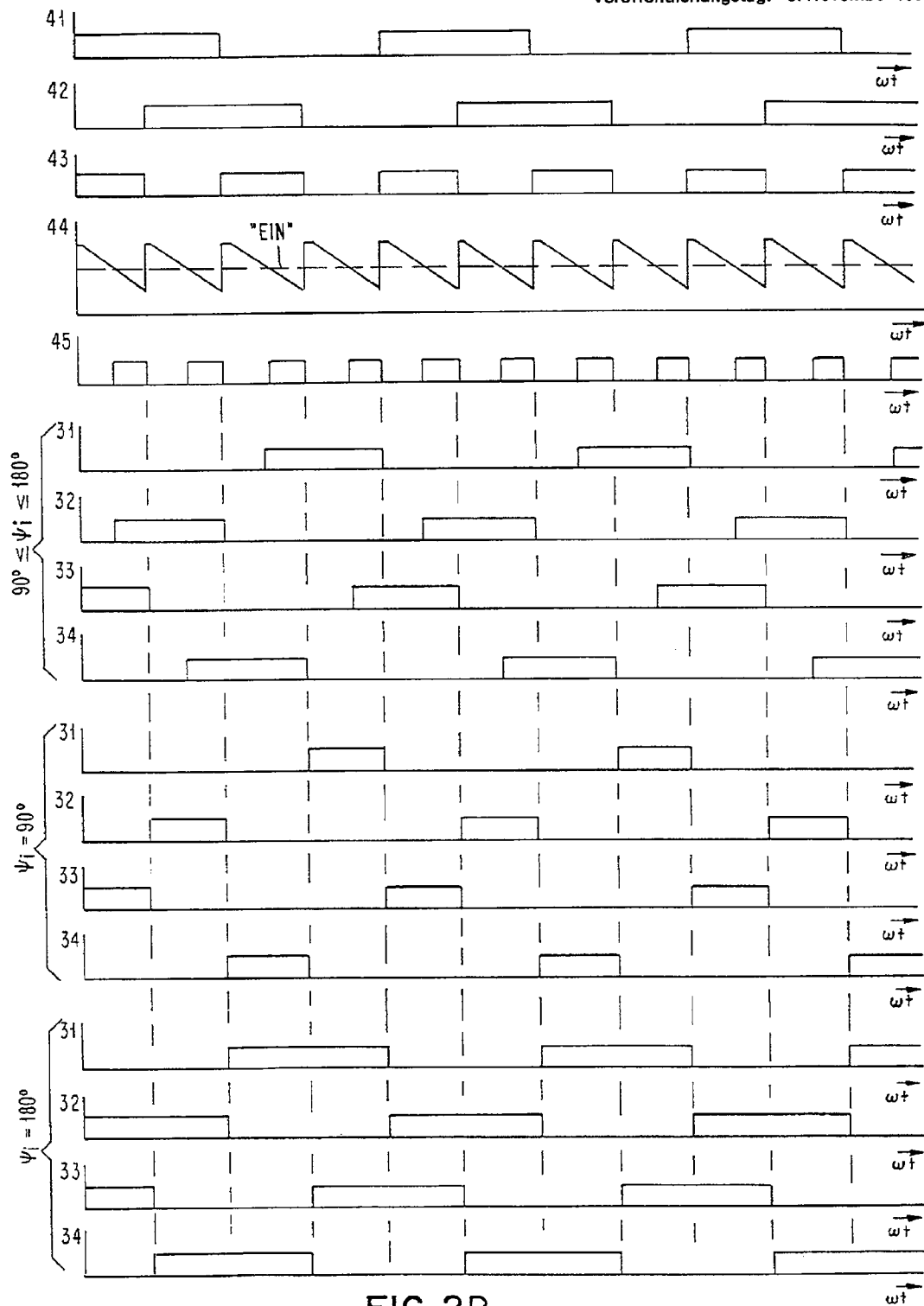


FIG. 2B

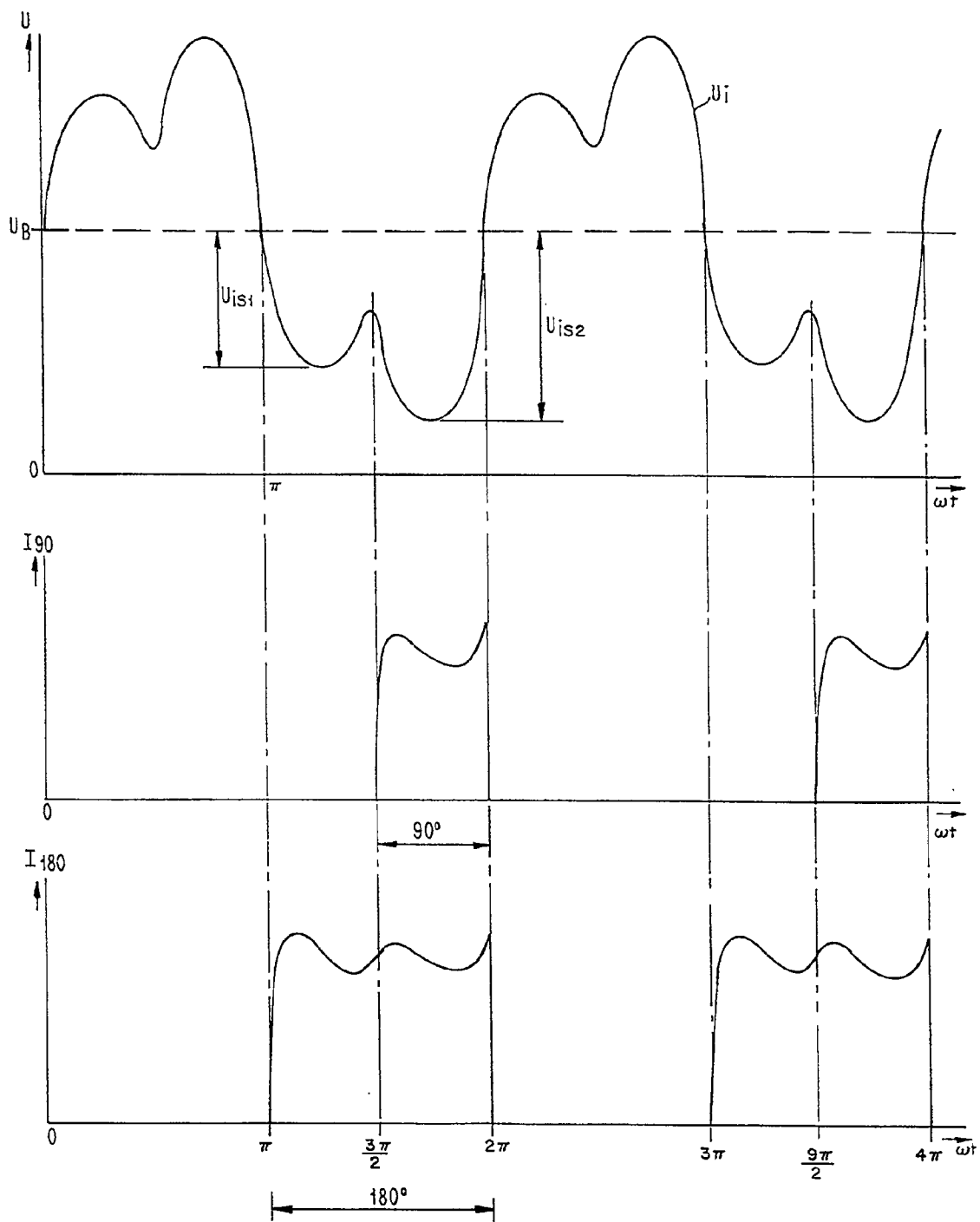


FIG. 3

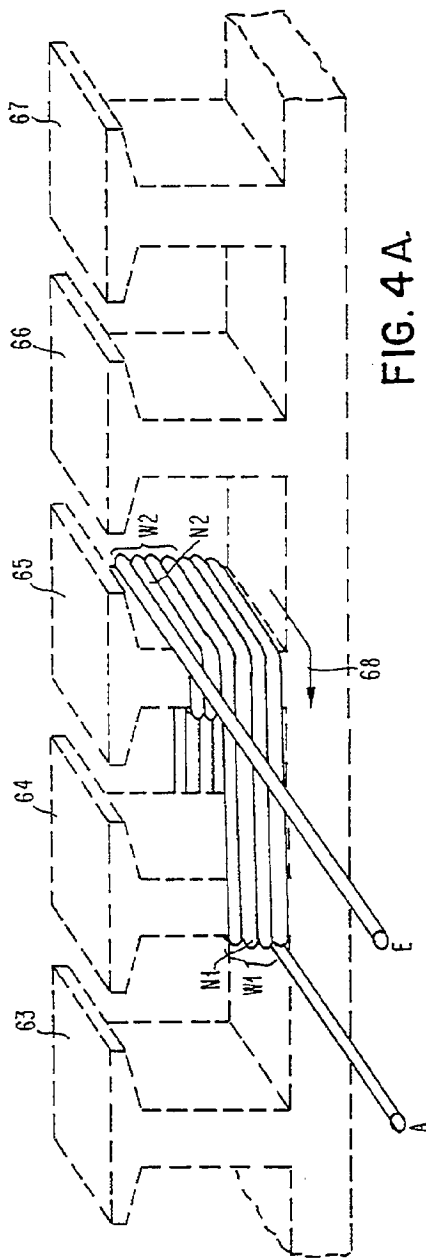


FIG. 4A

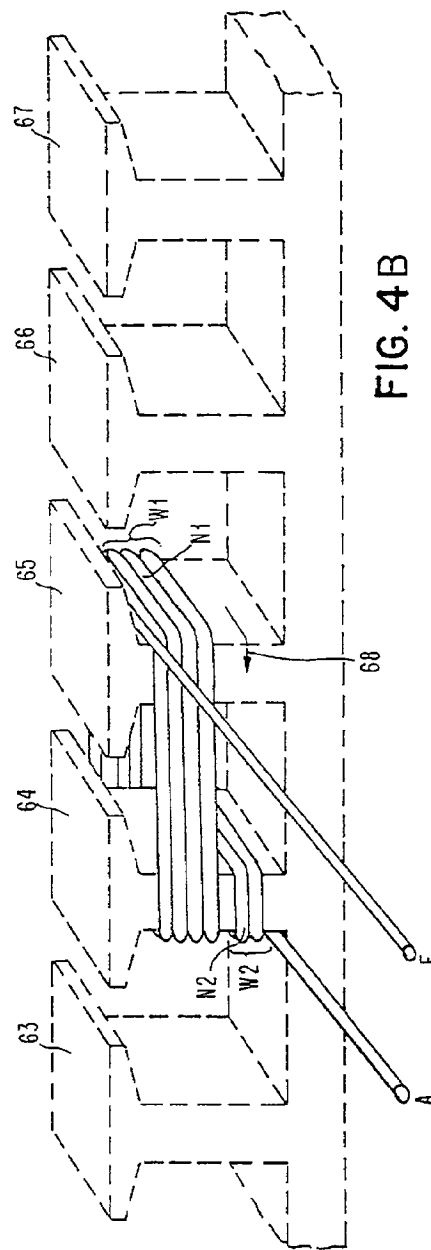


FIG. 4B

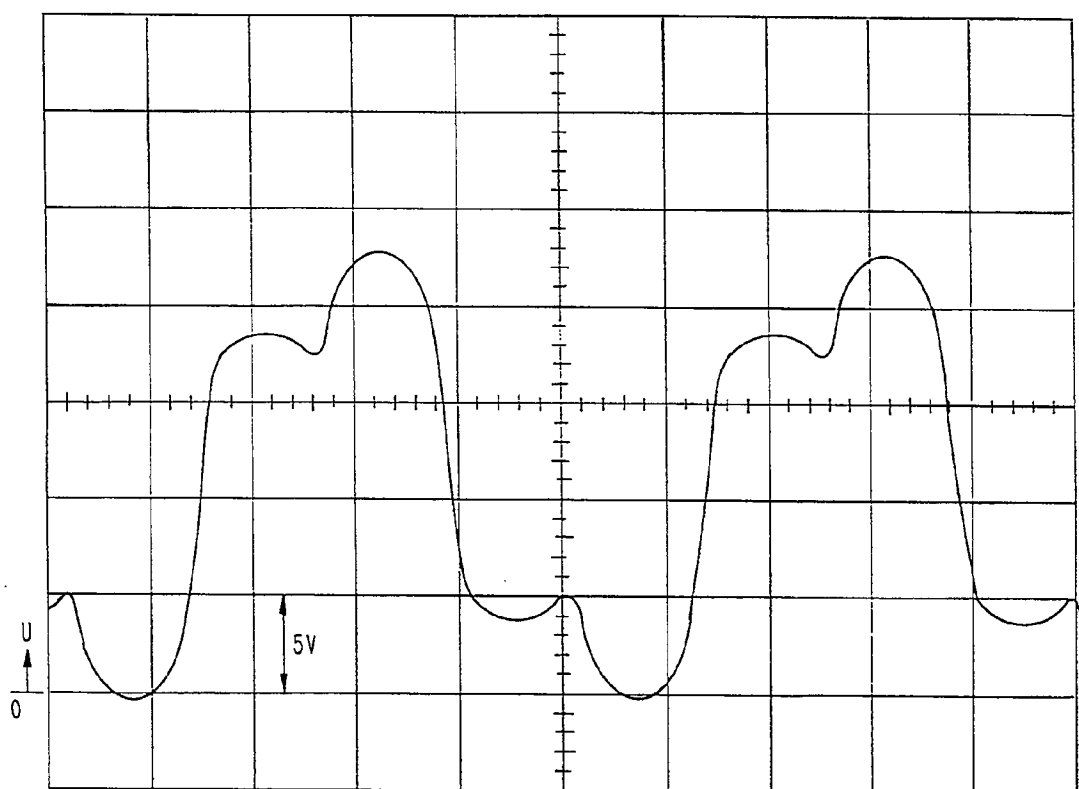


FIG.5

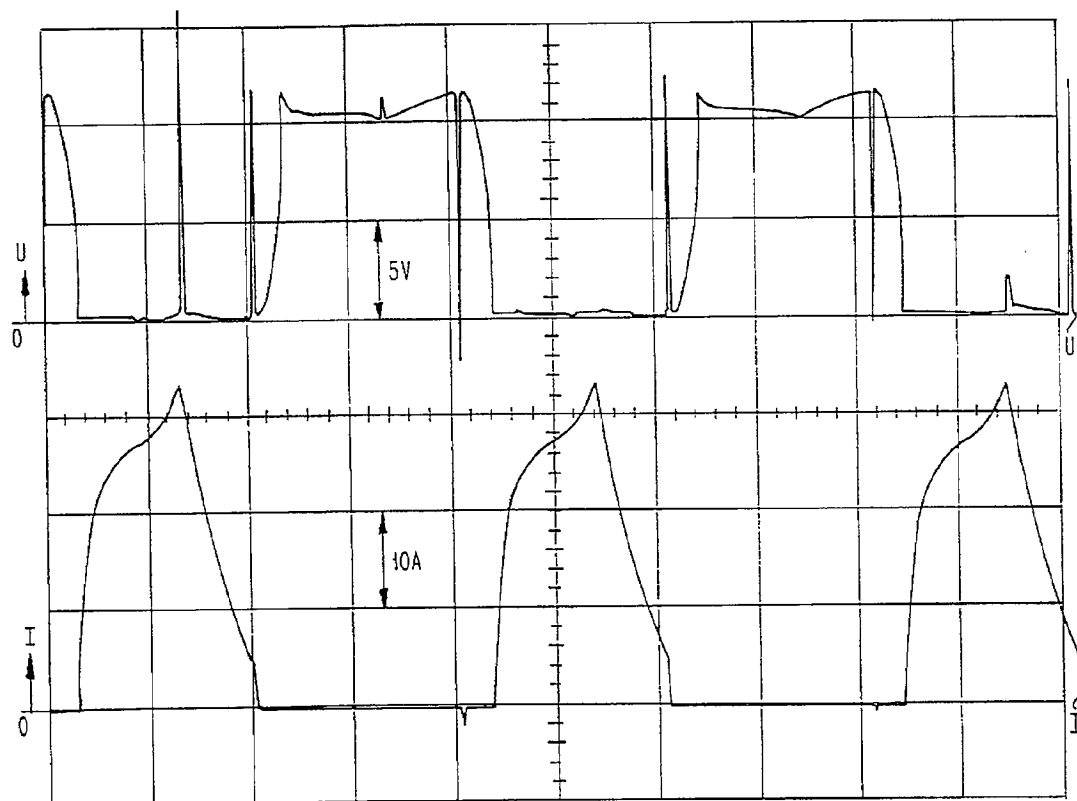


FIG. 6

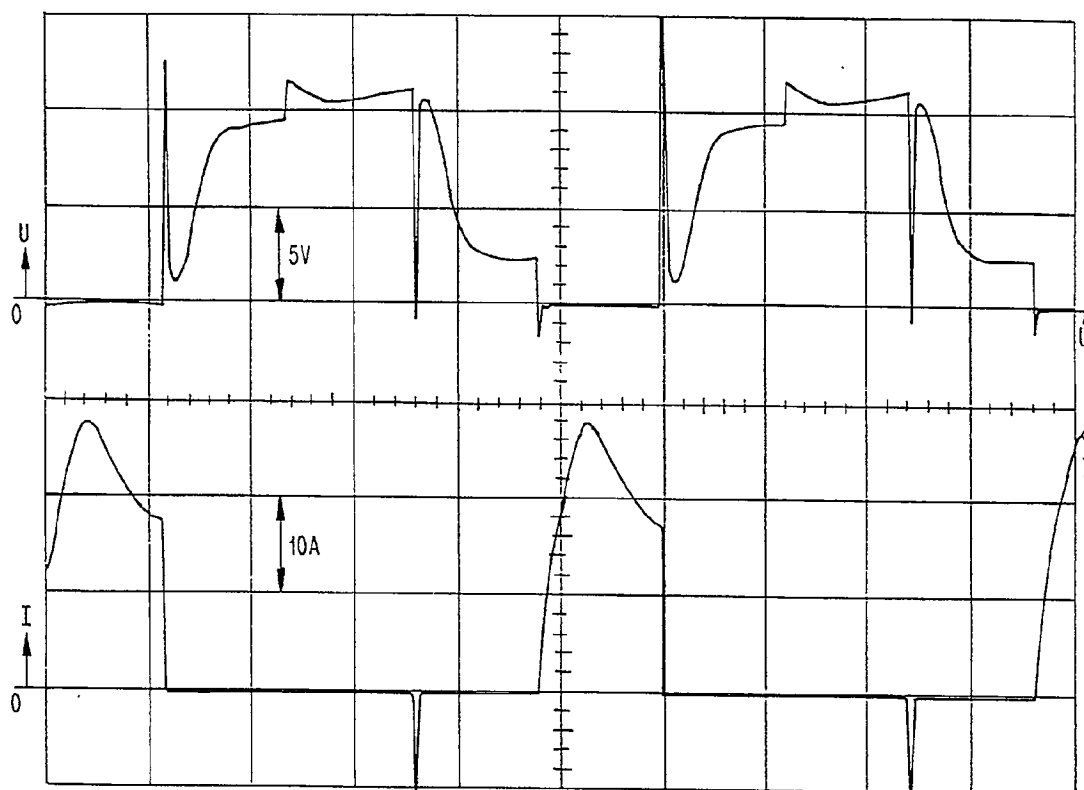


FIG. 7

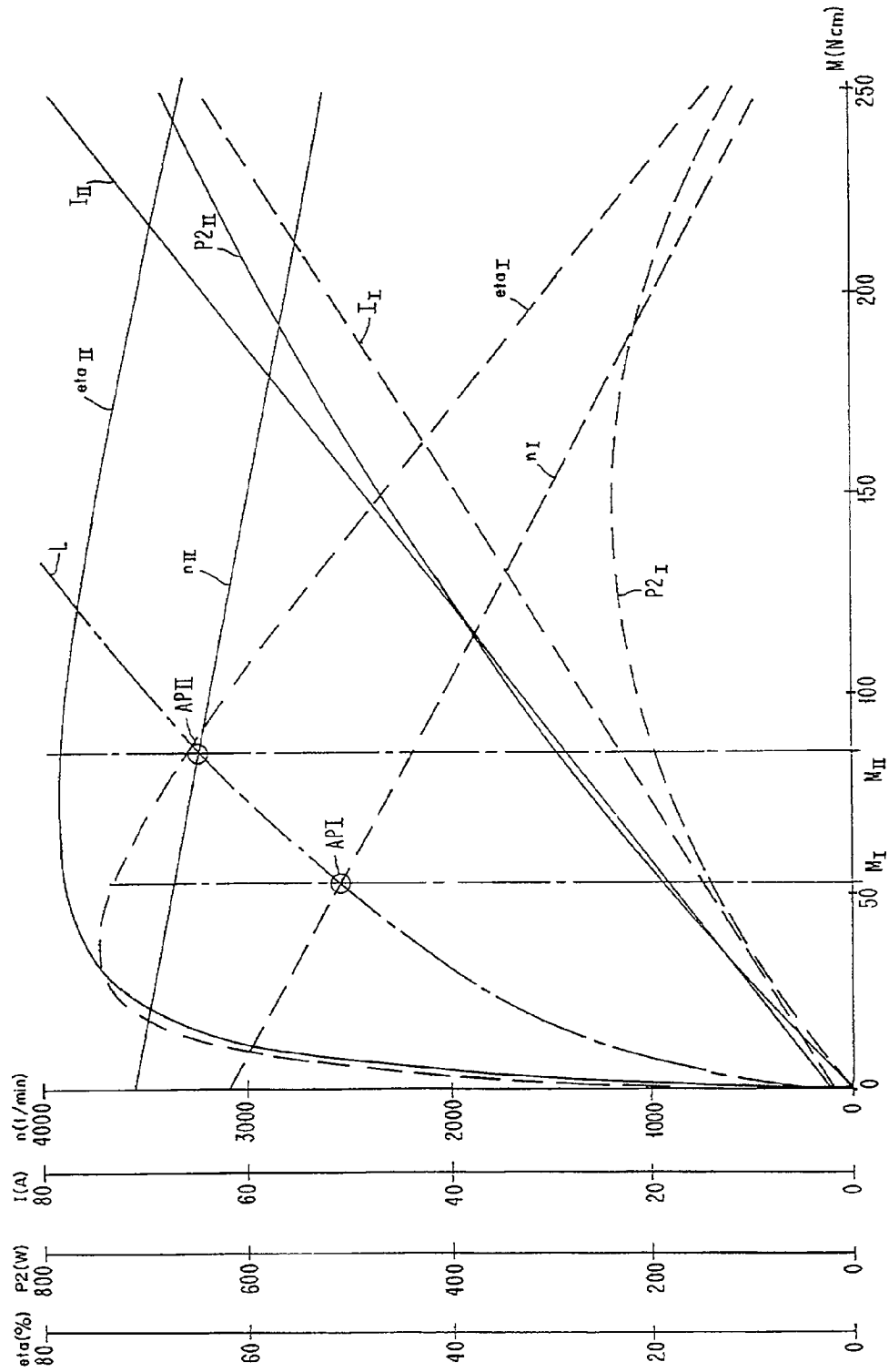


FIG. 8